

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Übersicht über den Stoff des Buches	V
Inhaltsverzeichnis	IX
Symbole	XIII
1. Technologische Grundprozesse.....	1
1.1 Die Planartechnologie des Silizium	1
1.2 Mikrolithographie	2
1.3 Thermische Oxidation des Silizium	4
1.4 Diffusion	6
1.4.1 Diffusionsmechanismen und Diffusionskoeffizient	8
1.4.2 Diffusionsprofile.....	10
1.4.3 Diffusion aus einer unerschöpflichen Quelle	10
1.4.4 Diffusion aus einer erschöpflichen Quelle	11
1.5 Reinigung der Siliziumoberfläche.....	14
1.6 Ätzverfahren der Siliziumbauelemente.....	16
1.7 Durchführung von Dotierstoff-Diffusionen	19
1.8 Simulation der Prozesstechnologie	20
1.9 Ionenimplantation von Dotierstoffen	25
1.10 Herstellung von Epitaxie-Schichten.....	28
1.11 Metallisierung	31
1.12 Aluminium-Metallisierung.....	31
1.13 Polysilizium-Leiterbahnen	32
1.14 Silicon-Gate-Technik	33
1.15 Refraktärmetall-Beschichtungen.....	34
1.16 CMOS-Prozesstechnologie	35

2. Grundlagen der Halbleiterphysik für Siliziumbauelemente	45
2.1 Die Grundgleichungen	45
2.2 Die Ladungsträgerdichten im thermischen Gleichgewicht	46
2.2.1 Das Fermi-Dirac-Integral	46
2.2.2 Näherungen für nicht-entartete Halbleiter	49
2.2.3 Bestimmung der Gleichgewichts-Fermi-Energie bei neutralem, dotiertem Halbleiter-Material	51
2.3 Die Eigenleitungsichte und ihre Abhängigkeit von der Temperatur.....	58
2.3.1 Temperaturabhängigkeit des Bandabstandes.....	59
2.3.2 Temperaturabhängigkeit der effektiven Zustandsdichten	60
2.4 Koeffizienten der Driftstromanteile	60
2.5 Koeffizienten der Diffusionsstromanteile	62
2.6 Quasi-Fermi-Energien.....	63
2.7 Drift- und Diffusionsstrom für den Fall des Nicht-Gleichgewichts der Ladungsträger.....	64
2.7.1 Feldstrom	66
2.7.2 Diffusionsstrom	67
2.8 Die Überschuss-Rekombinationsrate in den Kontinuitätsgleichungen.....	68
2.8.1 Vorbemerkung.....	68
2.8.2 Die Überschuss-Rekombinationsrate	70
2.8.3 Herleitung der Überschuss-Rekombinationsrate nach der Shockley-Read-Hall-Theorie.....	72
2.8.4 Interpretation der Überschuss-Rekombinationsrate nach der Shockley-Read-Hall-Theorie.....	78
2.8.5 Die Lebensdauer	79
2.9 Die Poisson-Gleichung.....	82
2.10 Halbleiterrechnungen bei Niedrig- und Hochinjektion.....	83
2.10.1 Niedriginjektion.....	83
2.10.2 Hochinjektion	85
3. Integrierte Widerstände und Kondensatoren.....	87
3.1 Integrierte Widerstände	87
3.1.1 Widerstand diffundierter Störstellenprofile.....	87
3.1.2 Vermessung von diffundierten Widerständen	93
3.1.3 Vier-Spitzen-Methode	93
3.1.4 Differentielle Leitwert-Technik.....	95
3.1.5 Optische Vermessung der Junction-Tiefe.....	96
3.1.6 Weitere Verfahren zur Vermessung des Widerstandes einer Halbleiterprobe	96

3.2	Integrierte Kondensatoren	97
3.2.1	MOS-Varaktor	98
3.2.2	Kapazität des pn-Übergangs.....	101
4.	Der pn-Übergang.....	103
4.1	Planare Silizium-Dioden und ihre Kennlinien	103
4.2	Shockley-Modell der Diodenkennlinie	105
4.3	Erweitertes Modell der Diodenkennlinie durch Berücksichtigung der RLZ-Rekombination	109
4.3.1	Die Überschussrekombinationsrate der Raumladungszone	110
4.3.2	Einfluss der RLZ-Oberfläche	115
4.3.3	Die Diodencharakteristik bei hohen Aussteuerungen	117
4.3.4	Sperrverhalten der Diode.....	121
4.3.5	Zusammenfassung der Diodencharakteristik.....	122
5.	Der Metall-Halbleiter-Kontakt	123
5.1	Einführung.....	123
5.2	Das ideale Energiebändermodell des Metall-Halbleiter-Kontaktes	124
5.2.1	Entstehung des Bändermodells eines Metall-Halbleiter-Übergangs	124
5.2.2	Anmerkung zum Modell des Kontaktes zwischen Metall und p-leitendem Silizium.....	129
5.3	Das reale Energiebändermodell des Metall-Halbleiter-Kontaktes.....	130
5.3.1	Metall-Halbleiter-Übergang nach Temperaturbehandlung	130
5.4	Strom-Spannungskennlinie von Schottky-Dioden	132
5.5	Der Kontaktwiderstand	135
5.6	Vorfaktor 1/4 der mittleren Geschwindigkeit für den Halbraum.....	136
6.	Die Halbleiteroberfläche anhand des MOS-Varaktors	139
6.1	Vorbetrachtung zum idealisierten MOS-Varaktor	139
6.2	Die Raumladungsschicht an der Halbleiteroberfläche	141
6.3	Diskussion der Oberflächen-Raumladung	144
6.4	Der Potential- und Energiebänderverlauf eines MOS-Varaktors.....	151
6.4.1	Austrittsarbeit des Halbleiters	152
6.4.2	Spannungsumlauf um das MOS-System	154
6.4.3	Bändermodell für ein Silicon-Gate-System.....	157
6.4.4	Berücksichtigung von Phasengrenzzuständen.....	159

6.5	Der Kapazitätsverlauf eines idealen MOS-Varaktors	160
6.6	Die reale Halbleiteroberfläche, Messgrößen und Messmethoden.....	164
6.6.1	C(U)-Grundversuch und Auswertung	164
6.7	Abschlussbemerkungen zur Halbleiteroberfläche und zum MOS-Varaktor	170
7.	Der reale MOS-Transistor.....	171
7.1	MOSFET-Kennlinien.....	176
7.2	Die Schwellenspannung	179
7.3	Subthreshold-Betrieb von MOSFETs	182
7.4	Kennlinien von miniaturisierten MOSFETs	183
7.4.1	Kurzkanalverhalten der Schwellenspannung.....	184
7.4.2	Heiße Ladungsträger.....	186
7.5	Kapazitäten und Ersatzschaltbild des MOSFETs.....	186
7.6	SPICE-Parameter / Level 1	189
7.7	Gleichspannungsübertragungseigenschaften des CMOS-Inverters	191
7.8	Schaltverhalten des CMOS-Inverters.....	194
7.8.1	Abschaltverhalten der Ausgangsspannung.....	195
7.8.2	Einschaltverhalten der Ausgangsspannung	197
7.8.3	Dynamische Verlustleistung des CMOS-Inverters.....	200
8.	Herstellungsprozess von Halbleiterbauelementen	203
	Literaturverzeichnis	205
	Index	207